

SIMULASI NUMERIK ARUS LALU LINTAS PADA JARINGAN JALAN MENGUNAKAN METODE GODUNOV

Erwin Budi Setiawan¹, Dede Tarwidi², Ilyana Fadhilah³

^{1,2,3}Jurusan Ilmu Komputasi Universitas Telkom, Bandung

¹erwinbudisetiawan@telkomuniversity.ac.id, ² dede.tarwidi@gmail.com, ³ diladilo13@gmail.com

Abstrak

Tugas akhir ini membahas pemodelan dan simulasi arus lalu lintas, baik untuk satu jalur jalan maupun untuk jaringan jalan. Jaringan jalan yang dimaksud adalah kumpulan dari beberapa jalur jalan yang dihubungkan oleh sebuah atau lebih persimpangan (*junction*). Untuk memodelkan arus lalu lintas digunakan persamaan konservasi melalui pendekatan dinamika fluida. Persamaan konservasi untuk kendaraan pada suatu ruas jalan digunakan persamaan LWR sedangkan pada persimpangan digunakan persamaan Rankine-Hugoniot. Solusi numerik untuk persamaan konservasi diselesaikan menggunakan metode Godunov. Simulasi numerik dilakukan untuk mengetahui kepadatan lalu lintas yang disebabkan oleh adanya lampu pengatur lalu lintas. Simulasi numerik yang ditampilkan berupa kepadatan arus lalu lintas untuk satu jalur dan untuk jaringan jalan.

Kata kunci : jaringan jalan, persamaan LWR, metode Godunov, dinamika fluida

Abstract

This final project explores the modeling and simulation of traffic flow, both for single lane and for the road network. The road network in question is a collection of some of the trails are connected by one or more intersection (*junction*). To model the flow of traffic used through the conservation equations of fluid dynamics approach. Conservation equation for a vehicle on a road used equations used LWR while at the intersection of Rankine-Hugoniot equation. Numerical solution for the conservation equations solved using the method of Godunov. Numerical simulations conducted to determine the traffic congestion caused by traffic lights. Numerical simulations are displayed in the form of traffic density for the track and for the road network.

Keywords: road network, LWR equation, Godunov method, fluid dynamics

1 Pendahuluan

Di era globalisasi ini, sebagian besar masyarakat terutama di kota besar lebih memilih untuk menggunakan kendaraan pribadi sebagai penunjang kegiatan mereka sehari-hari. Banyaknya jumlah kendaraan saat ini tidak diimbangi pula dengan pertumbuhan jalan raya sebagai penunjang arus lalu lintas. Selain itu, dampak nyata terhadap banyaknya jumlah kendaraan yaitu masalah kemacetan lalu lintas yang tidak dapat dihindarkan. Hal ini terjadi juga pada kota Bandung yang semakin lama jumlah kendaraan bermotor semakin banyak sehingga menyebabkan kemacetan lalu lintas terlebih pada akhir pekan.

Permasalahan lalu lintas ini harus segera diatasi. Salah satu cara mengatasi permasalahan lalu lintas adalah dengan melakukan pengaturan lalu lintas pada persimpangan jalan agar lebih efektif.

Pada Tugas Akhir ini, akan ditinjau efek kepadatan lalu lintas dengan berbagai kondisi lalu lintas seperti kemacetan lalu lintas yang semakin lama semakin bertambah panjang atau

terurainya kemacetan sedikit demi sedikit bila hambatan dibuka. Selanjutnya disimulasikan untuk mengetahui laju aliran kendaraan pada lalu lintas terutama saat memecah kemacetan baik satu jalur jalan maupun jaringan jalan yang dihubungkan oleh persimpangan (*junction*).

Laju kendaraan pada arus lalu lintas di jalan raya dapat digunakan pendekatan dinamika fluida [6] kemudian, memodelkan dan mensimulasikan arus lintas pada satu jalur jalan menggunakan persamaan Lighthill, Whitham, dan Richards (LWR) [9] [10]. Setelah itu, memodelkan dan mensimulasikan arus lalu lintas pada jaringan jalan menggunakan metode Godunov [7][8]. Jaringan jalan adalah kumpulan jalur jalan yang dihubungkan oleh persimpangan jalan (*junctions*) dengan asumsi bahwa jumlah kendaraan yang masuk suatu persimpangan jalan sama dengan jumlah kendaraan yang keluar dari persimpangan jalan sesuai dengan persamaan Rankine Hugoniot [6].

2 Landasan Teori

2.1 Metode Lighthill, Whitham, dan Richards

Dalam memodelkan arus lalu lintas secara makroskopik diperlukan model matematika yang memformulasikan hubungan antara karakteristik dari laju aliran saat berlalu lintas seperti kepadatan kendaraan, pergerakan kendaraan dan rata-rata dari kecepatan kendaraan pada saat berlalu-lintas. Untuk menggunakan tinjauan secara makroskopik harus memiliki asumsi bahwa laju kendaraan saat berlalu lintas sama sebanding dengan laju aliran pergerakan fluida. Model makroskopik pertama kali di publikasikan oleh Lighthill dan Whitham pada tahun 1955 dalam menghitung kepadatan kendaraan saat terjadi antrian kendaraan yang panjang, setahun kemudian Richards (1956) ikut menyumbangkan ide dengan mempublikasikan terjadinya gekombang kejut pada jalan tol. Kemudian LWR model dapat dituliskan sebagai

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0$$

dengan ρ_v adalah kepadatan kendaraan yang memenuhi suatu titik tiap satuan waktu dan q_v merupakan banyaknya kendaraan yang melintasi suatu poin / titik / node setiap satuan waktu, atau q_v juga bisa disebut sebagai fluks dari kendaraan. Fluks kendaraan berbanding lurus dengan kepadatan kendaraan (ρ_v) atau dapat dituliskan sebagai berikut

dengan u merupakan kecepatan kendaraan. Nilai dari

sendiri berbanding terbalik dengan nilai . Apabila pengendara cenderung memacu kendaraan dengan kecepatan maksimum bisa dipastikan bahwa kondisi ruas jalan sedang lengang atau kepadatan kendaraan bernilai minimum atau bahkan mendekati nol. Sebaliknya, jika pengendara cenderung menurunkan kecepatannya dapat dipastikan diruas jalan tersebut sudah terjadi kepadatan lalu lintas yang cukup tinggi sehingga kecepatan kendaraan mencapai nilai minimum dan kepadatan kendaraan mencapai nilai maksimum. Untuk tujuan menyederhanakan, maka dituliskan dalam persamaan berikut

$$q = u \rho$$

$$\rho = \rho_{max} \left(\frac{q}{q_{max}} \right)^4$$

dengan merupakan jumlah kepadatan kendaraan maksimum yang mungkin terjadi, bersesuaian dengan situasi dimana suatu kendaraan tidak dapat bergerak sama sekali dan adalah kecepatan maksimum kendaraan yang memungkinkan terjadi apabila ruang jalan atau ruas jalan kosong (apabila pada persamaan diketahui ρ_v cenderung nol). Jika pada kasusnya $\rho_v \rightarrow 0$ maka model tersebut *invalid* atau model tersebut tidak lagi bersifat kontinu.

2.2 Metode Godunov

Laju aliran kendaraan pada saat melewati atau memasuki suatu persimpangan dapat didefinisikan dengan persamaan Rankine-Hugoniot seperti dituliskan sebagai

$$\sum_{i \in BS(n)} \rho_i (u_i - u) = \sum_{j \in FS(n)} \rho_j (u_j - u)$$

dengan dengan $i \in BS(n)$, merupakan kepadatan dari kendaraan ketika memasuki suatu jalan, dan dengan $j \in FS(n)$ merupakan kepadatan kendaraan ketika keluar dari suatu jalan atau lintasan.

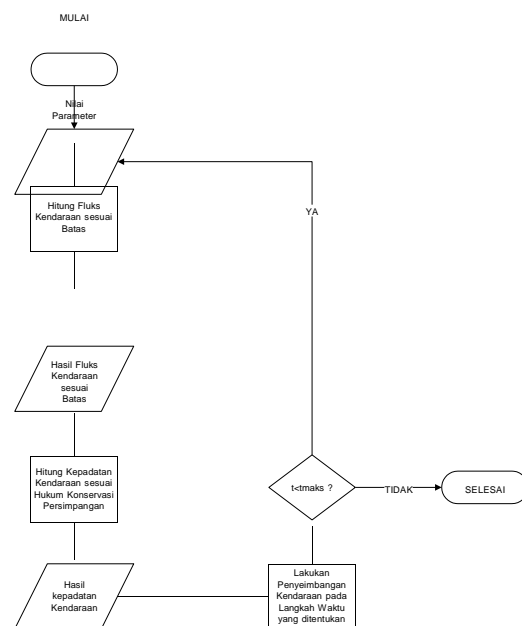
Kondisi saat di persimpangan apabila suatu ruas jalan dengan kepadatan kendaraan bergerak dari kanan ke kiri (*right endpoint*) interaksi pada saat di persimpangan sebagai berikut :

$$-\rho_i (u_i - u) = \rho_j (u_j - u)$$

Jika kondisi pada ruas jalan dengan kepadatan bergerak dari kiri ke kanan (*left endpoint*) interaksi pada saat di persimpangan sebagai berikut :

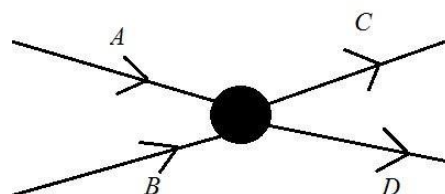
$$-\rho_i (u_i - u) = \rho_j (u_j - u) \quad (2.6)$$

3 Perancangan Sistem

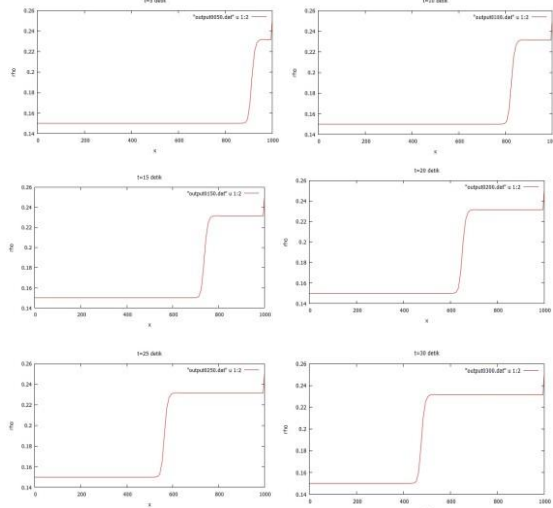


4 Hasil dan Analisis

Untuk mensimulasikan arus lalu lintas pada jaringan jalan, terlebih dahulu kita mengilustrasikan bentuk jaringan jalan yang akan disimulasikan

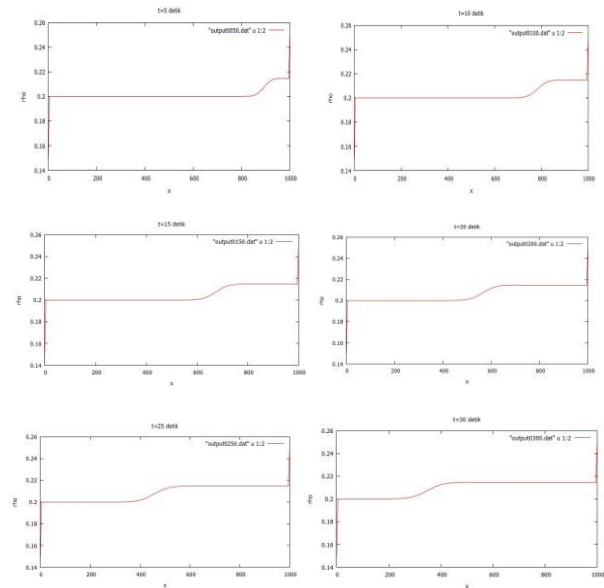


4.1 Simulasi Arus Lalu Lintas pada Jaringan Jalan yang akan Melewati Persimpangan Jalan.



(A)

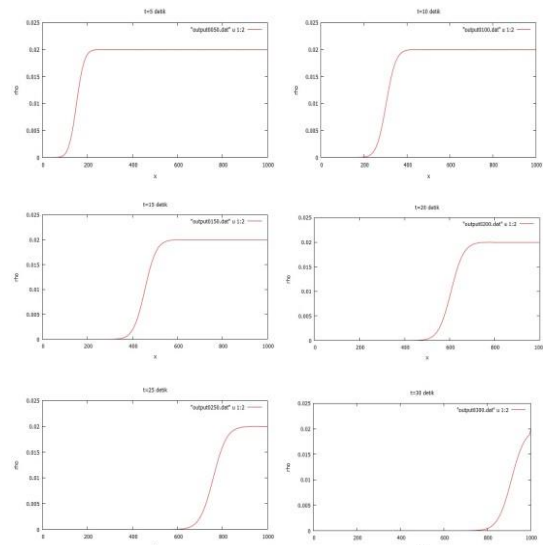
Pada grafik kepadatan lalu lintas jalan A sesuai dengan Gambar 14, terlihat titik 1000 meter merupakan titik awal adanya lampu lalu lintas. Saat waktu tunggu lampu lalu lintas, kepadatan kendaraan cenderung bergerak dari kanan ke kiri seperti halnya pada kasus gelombang kejut. Antrian kendaraan juga terlihat meningkat berbanding lurus dengan nilai langkah waktu yang mendekati maksimum yaitu pada 30 detik. Kepadatan kendaraan bernilai maksimum berada pada titik 1000 meter. Saat t bernilai 5 detik kepadatan kendaraan berada dititik 1000 meter bergerak ke kiri hingga titik 865 meter atau antrian kendaraan sejauh 135 meter. Pada detik ke 10 kepadatan terus bergerak ke kiri dari titik 1000 meter hingga titik 775 meter dengan antrian kendaraan sudah sejauh 225 meter. Kemudian pada detik ke 15 kepadatan berada pada titik 1000 meter bergerak terus ke kiri menuju titik 695 meter. Pada detik ke 20 antrian kendaraan bergerak ke kiri dari titik 1000 meter hingga titik 605 meter. Selanjutnya pada detik ke 25 kepadatan juga cenderung memenuhi ruas jalan yang belum dipadati kendaraan dari titik 1000 meter hingga titik 515 meter, dan pada t bernilai maksimum sebagian besar kendaraan sudah memenuhi ruas jalan A dari titik 1000 meter sampai dengan titik 425 meter atau pada detik ke 30 antrian kendaraan sudah sejauh 575 meter.



(B)

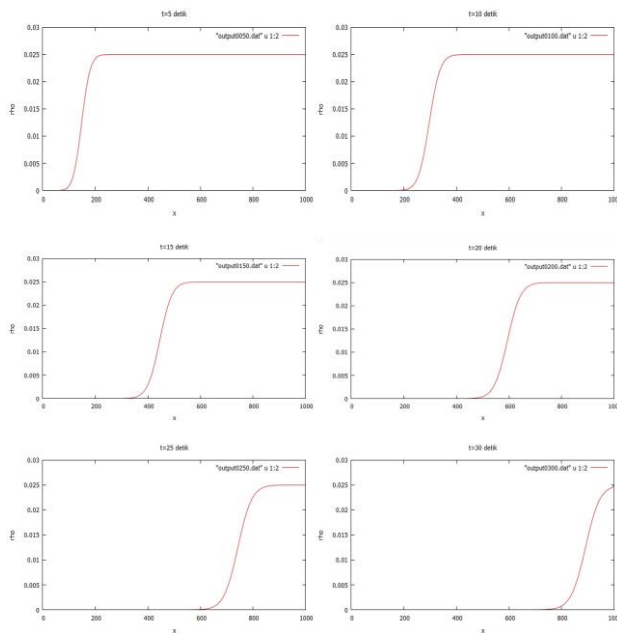
Untuk jalan A kepadatan awal bernilai 0.015 1/m, sedangkan untuk jalan B kepadatan awal bernilai 0.2 1/m. Pada saat t bernilai 5 detik, kepadatan kendaraan berawal dari titik 1000 meter dan bergerak ke kiri menuju titik 795 meter atau sejauh 205 meter. Kemudian pada saat t bernilai 10 detik kepadatan juga bertambah dari 1000 meter menuju titik 655 meter atau antrian kendaraan sudah sejauh 345 meter. Pada detik ke 15 kepadatan kendaraan terlihat dari titik 1000 meter hingga titik 525 meter. Lalu detik ke 20 kepadatan kendaraan bergerak ke kiri ke ruas jalan yang masih lengang dari titik 1000 meter menuju titik 415 meter. Kemudian, saat t bernilai 25 detik kepadatan juga hampir memenuhi ruas jalan B dari titik 1000 meter hingga titik 275 meter, dan saat t bernilai maksimum yaitu 30 detik kendaraan juga memenuhi ruas jalan B sejauh 835 meter.

4.2 Simulasi Arus Lalu Lintas pada Jaringan Jalan yang telah Melewati Persimpangan Jalan.



(c)

Kepadatan yang terjadi ketika jalan A dan B sedang mengalami fase waktu tunggu lampu merah lalu lintas berimbas pada jalan C yang merupakan jalan yang telah melewati persimpangan. Imbasnya berupa adanya ruas jalan dengan nilai kepadatan 0 1/m atau tidak ada kendaraan yang melintas. Jika pada jalan A dan jalan B kepadatan bergerak dari kanan ke kiri, maka untuk jalan C saat perulangan langkah waktu kepadatannya berkurang dari kiri ke kanan, atau ruas jalan yang tidak dilintasi kendaraan bertambah dari kiri ke kanan. Saat t bernilai 5 detik kepadatan kendaraan terjadi dari titik 95 meter sampai pada titik 1000 meter. Kemudian saat t bernilai 10 detik kepadatan kendaraan berkurang dari titik 245 meter sampai pada titik 1000 meter. Pada langkah waktu selanjutnya yaitu 15 detik, kepadatan kendaraan mulai berkurang sejauh 605 meter yakni dari titik 395 meter hingga titik 1000 meter saja yang masih terjadi antrian kendaraan. Kemudian ketika t bernilai 20 detik ruas jalan yang lengang bertambah diiringi berkurangnya antrian kepadatan kendaraan yang masih memenuhi ruas jalan C, antrian kendaraan pada waktu tersebut berada pada titik 535 meter hingga 1000 meter. Selanjutnya, saat t bernilai 25 detik antrian kepadatan kendaraan semakin berkurang yaitu hanya terjadi di titik 685 meter sampai dengan titik 1000 meter atau kepadatan kendaraan sejauh 315 meter. Pada saat t bernilai maksimum ruas jalan yang lengang atau kepadatan kendaraannya bernilai 0 1/m bernilai maksimum pula, sedangkan ruas jalan yang masih terlihat adanya kepadatan hanya terjadi pada titik 825 meter hingga 1000 meter saja.



(D)

Saat t bernilai 5 detik kepadatan kendaraan terjadi di titik 105 meter hingga titik 1000 meter, sedangkan pada perulangan selanjutnya saat detik ke

10 kepadatan mulai berkurang yakni hanya berada pada titik 245 meter sampai titik 1000 meter. Kemudian saat t bernilai 15 detik kepadatan juga berkurang dari titik 385 meter hingga 1000 meter. Lalu, untuk t bernilai 20 detik ruas jalan yang tidak dilintasi kendaraan atau kepadatannya bernilai 0 1/m bertambah namun masih terlihat adanya kepadatan kendaraan pada titik 525 meter sampai dengan 1000 meter. Saat t bernilai 25 detik kepadatan hanya terlihat di titik 665 meter sampai dengan 1000 meter. Kemudian saat t bernilai maksimum yakni 30 detik ruas jalan yang tidak dilintasi kendaraan bertambah sedangkan pada detik ke 30 masih terlihat adanya kepadatan kendaraan dari titik 815 meter sampai dengan 1000 meter atau antrian kendaraan hanya terjadi sejauh 185 meter saja.

5 Kesimpulan

Menyimulasikan arus lalu lintas dengan Metode Godunov pada jaringan jalan yang telah dibahas pada subbab 4., dimana dalam pembahasan tersebut memiliki asumsi yaitu jalan A dan B yang merupakan jalan yang akan melalui persimpangan sedang mengalami waktu tunggu lampu lalu lintas, sedangkan jalan C dan D yang merupakan jalan yang telah melewati lampu lalu lintas. Untuk jalan A dan B kepadatan kendaraan akan bertambah dan bergerak dari kanan ke kiri seiring perulangan waktu mencapai maksimum, sedangkan untuk jalan C dan D kepadatan kendaraan berkurang dari kiri ke kanan atau kepadatan kendaraan berkurang dari kiri ke kanan seiring perulangan waktu yang mencapai maksimum.

6 Referensi

- [1]. Astarita V. (2002). "Node and Link Models for Network Traffic Flow Simulation", dalam *Math.Compute.Model*, 271-290.
- [2]. Benedetto Picoli, Mauro Garavello. (2013). "A Multibuffer Model for LWR Networks".
- [3]. Blandin S, Brett G, B Piccoli, Coutolo A. (2009). "Numerical Simulations of Traffic Data Via Fluid Dynamic Approach".
- [4]. Brett G, B Piccoli, Natalini R. (2005). "Numerical Algorithms for Simulations of a Traffic Model on Road Networks".
- [5]. Brett G, B Piccoli, Natalini R. (2005). "Fast Algorithms for the Approximation of a Traffic Flow Models on Network".
- [6]. Caramia M, Apice C, B Piccoli, Sgalambro A. (2010). "Fluidsim : A Car Traffic Simulation Prototype Based on Fluid Dynamic".

- [7]. Godunov S.K.(1959). "*A Finite Difference Method for the Numerical Computation of Discontinuous Solutions of the Equations of Fluid Dynamics*".
- [8]. Guinot V. (2003). "*Godunov-type Schemes an Introduction for Engginers*", 162-171.
- [9]. Lighthill M.J, Whitham G.B. (1955). " *A Theory of Traffic Flow on Long Crowded*".
- [10]. Richards P.I. (1956). "*Shockwaves on the Highway*".
- [11]. Shuyan H.E, Jihui M.A. (2012). "*Review on Traffic Flow Phenomena and Theory*".
- [12]. Whitham G.B. (1974). " *Linear and Non Linear Waves*", dalam *Pure and Applied Mathematics and Tracts*. New York, USA : John Wiley & Sons.

